

等离子体和加速器技术与发展 不断扩大的应用机会

THOMAS DOLAN, STJEPKO FAZINIC, C.U. ROSENGARD 和 URSULA SCHNEIDER

核科技高新领域内的基础和应用研究已经使许多国家能够在工业、医疗和能源领域获得社会、经济和环境效益。例如,科学研究已经为提高去除废物的工艺效率,生产高质量的陶瓷、金属和涂层以及改进医疗保健和治疗开辟了道路。

IAEA 一直在通过一系列的活动支助和协调这方面的科学和技术研究,以便满足成员国可持续发展的需要。机构的这部分计划涉及核仪器的应用、等离子体物理与核聚变的研究以及研究堆与加速器的利用。本文重点关注等离子体与加速器束流的应用,并介绍推动技术与专门知识的传播活动。

等离子体技术

大多数人习惯认为物质只有气、液、固三种基本形态。但是,物理学家经常会遇到物质的另一种形态——等离子体,一种离子化的气体。其实等离子体过程——小至氖灯发光,大到太阳能的产

生——是日常生活中的常见现象。现在,等离子体技术在医疗和工业中的实际应用非常广泛,而且效益显著。它们包括:

- 表面清洁、表面涂层和材料测试;
- 用等离子体—化学合成法来制造钻石和蓝宝石框;
- 在原子水平上加工和改良硅片;
- 高效光源;
- 食品保藏(塑料包装上起减缓氧化作用的防渗屏障);
- 生物适合的材料和植入物;
- 医疗应用(外科和牙科工具,植入物,心脏瓣膜);
- 危险废物的分解。

诸如此类的工业应用具有价值数百亿美元的市场潜力。许多聚变研究用的等离子体技术也正被运用于其它领域。例如,利用大功率微波进行的等离子体加热已在工业中得到广泛应用。等离子体诊断技术已被用于工业应用,小型等离子体设备也正

被用作中子源和 X 射线源。

技术合作项目 在中国,IAEA 曾支助过一个技术合作项目,帮助中国研制等离子体反应器,用于处理纸浆厂产生的有毒废液。目前正在建造一座中试厂,以便在更大的规模上试验这一概念。如果试验取得成功,就能向中国和世界其它地方的数以千计的纸浆厂推广这项技术。

在阿根廷进行的另一个项目是研制能够用于各种现场应用(如矿物勘探和爆炸物探查)的强脉冲中子源。

协调研究项目 IAEA 还组织了一个有关等离子体物理和聚变技术在工程、工业和环境中的应用的协调研究项目。该项目在许多参与国中取得了令人瞩目的成就。它们包括:

- **阿根廷** 研究了钢、钛和其它合金的表面改性。

Dolan 先生是 IAEA 核科学与应用司物理与化学处物理科科长, Fazinic 先生、Rosengard 先生和 Schneider 女士是该科职员。



使用同步加速器 X 射线的衍射进行的其它研究主要集中在提高钢的表面硬度上。

■ **巴西** 研究了含固体碳粒的涂层(例如碳化硼涂层)的微观结构,以改善包括耐磨性在内的机械性能。

■ **中国** 研究了被粉尘污染的等离子体,以便有助于材料加工的质量控制。此外,正在研究将等离子体设备用作 X 射线源和离子束源的可能性。

■ **埃及** 对一种作为臭氧发生器的无声绝缘放电器进行了试验,以用于处理污水、除去煤中的硫及除去原油天然气中的水蒸汽。

■ **德国** 沉积在聚合物上的无定形氢化碳膜使渗透

率降低 80—95%,与使用铝和氧化硅之类的防渗透涂层所取得的效果相当。

■ **希腊** 为制造半导体气体传感器之类的超微结构材料研制了一种使用金属原子簇的辉光放电源。

■ **印度** 利用等离子体高温分解医疗废物的等离子体焚烧系统原型正在进行现场试验。对所产生的气体进行了测量,并开发了防止环境污染的方法。

■ **日本** 研制了专门用于测量表面波等离子体和电感耦合等离子体的能量分布函数的仪器。为了掌握如何优化半导体的加工参数,研究了所生成碳氢化合物和氟化分子的浓度。

■ **罗马尼亚** 研制了一台用于加工材料的等离子体反应器。

■ **俄罗斯联邦** 验证了向聚变等离子体中注入靶丸以测量等离子体参数的可行性。

等离子体物理的这些应用对于借助表面处理保护材料、开发清洁的制造技术、为未来工艺技术生产新材料和改善环境都具有重要意义。

加速器的应用

在世界范围内,有数千台加速器正被用于许多不同的应用(见第 44 页方框)。机构正在建立一个有关低能加速器及其应用的数据库。这样的应用包括:

■ **中子发生器** 将能量为 0.1—3 MeV 的强流氘核束注入到氟钛靶中,就会发生

照片:(上左)中国成都用于纸浆废物的处置与回用的等离子体反应器。(上右)由美国西肯塔基大学开发的用于寻找地下埋藏物的系统。它正被试用于探查埋藏的地雷。

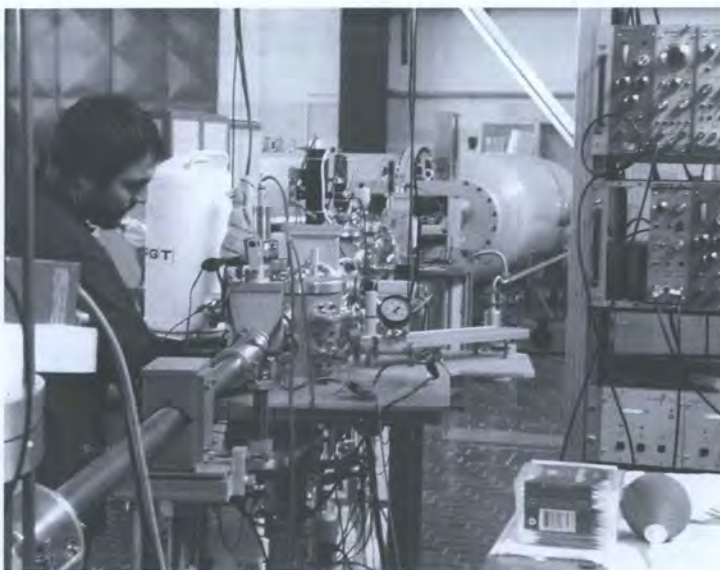
核聚变反应,从而产生中子。由于各种材料吸收与散射中子的能力不同,因而可将此类“中子发生器”用于材料分析。此类应用包括:物理试验,爆炸物与毒品的探查,扫雷,煤、水泥、玻璃、金属及农产品的整体分析,油井测量,矿物勘探,用中子射线照相法进行无损检验及医疗。

机构的活动包括一个有关使用中子进行整体氢分析的协调研究项目。已经印发了一份有关中子发生器的运行与维护的技术性文件。另一个协调研究项目涉及将核技术用于识别杀伤性地雷,正在研制一种可以识别埋藏物品并确定其位置的核仪器。将对一套用于探查地雷的系统进行现场试验。

离子掺杂 离子束工艺能够以高精度来合成和改良包括金属、半导体、陶瓷和绝缘材料在内的材料。离子掺杂器可用于生产计算机和通信系统所需的高级半导体芯片。

半导体工业使用了约7000台离子掺杂加速器。离子掺杂需要专门的加速器,这种加速器应能够掺入元素周期表中大部分元素的离子,而且在样品上均匀地扫出离子束。

这项技术还可用于沉积薄膜涂层,以改进在工业和



医疗中使用的专用工具的耐磨性、耐摩擦性和抗蚀性。例如,钛、铝和钒的合金具有非凡的生物适应性、良好的强度和抗蚀性,但是硬度和耐磨性较差。掺入氮能使这些合金的耐磨性提高1000倍,由它们制成的髋关节使用寿命长得多。

离子束分析 最常用的离子束分析(IBA)方法是PIXE(粒子诱发X射线发射分析法)、RBS(卢瑟福反向散射能谱测定法)、ERDA(弹性反冲探测分析法)和NRA(核反应分析法)。使用这些IBA技术能检测所有的元素。NRA与ERDA更适合于检测轻元素,特别是氢;RBS与PIXE能够检测较重的元素。

典型的情况是使用端电压约为2—3 MV的小型静电加速器。如果把约20个发

展中国家使用的这种设备计算在内,全世界约有200台。大多数IBA方法使用准确聚焦的离子束,可用于元素浓度分布的显像。弱流可用作可控制的辐射源探针,用于显示表面形态、晶体结构和材料密度分布的图像,或者用于研究电子器件的性能。

最广泛的应用是材料研制、环境污染研究、生物医学研究、地质学和考古定年学。由于RBS、ERDA和NRA能提供常规表面分析技术所不能提供的信息,因此这些方法是比较常规的表面分析技术的宝贵补充,而且它们拥有对解决某些问题来说必不可少的独一无二的特点。

照片:斯洛文尼亚约瑟夫·斯蒂芬研究所的离子束分析加速器。

加速器的应用

电子加速器

■ **低中能电子加速器** 应用:医院,辐射加工,辐射处理。用于癌症治疗、材料加固、医疗设备消毒、食品保藏以及减轻污染。全世界约有 7000 台(其中医院用 6000 台,材料加固、消毒和防止污染用 1000 台)。

■ **同步加速器辐射源** 应用:科研。用于材料研究、生命科学。全世界不足 50 台。

离子加速器

■ **中子发生器** 应用:中子活化分析。用于测井、工业过程的控制与分析、爆炸物

与毒品的探查。

■ **离子掺杂器** 应用:材料的离子束处理。用于计算机芯片的生产、防磨损与防腐蚀、人体关节植入。全世界约有 7000 台。

■ **低中能离子加速器** 应用:离子束分析与加速器质谱测定。用于探查痕量元素、生产医疗诊断与治疗用放射性同位素、使用离子束治疗癌症。全世界约有几百台。

■ **散裂中子源** 应用:科研。用于高科技材料的开发、核废物的嬗变。全世界约有 10 台。

它们能够分析材料科学、艺术、考古学和生物学等领域的形形色色样品。

IAEA 正在给成员国中的一系列项目提供支助。

■ **斯洛文尼亚** 在卢布尔雅那的约瑟夫·斯蒂芬研究所实施的一个技术合作项目的名下,已经建造了一座现代化的 IBA 研究和教育设施。该研究所计划装备带 5 条束流线的加速器,供 IBA 技术的不同应用,并计划实施有关这些技术的质量保证计划,然后为科研和工业提供分析服务。

有 2 条束流线已经运行,还有 1 条核微探针束流线正在建造。后者可以为使用微米和亚微米级的质子束分析各种样品提供支持。这

些系统将有助于测量诸如电子材料和微电子器件中的痕量元素的空间分布。正在为 RBS 和 ERDA 测量准备另一条束流线,以便能够进行薄层、硬涂层和其它材料的研究。

■ **以色列** 机构已经帮助以色列对其已有的用于各种用途的加速器设施进行了升级。对魏茨迈研究所 3 MeV 范德格喇夫静电加速器的能力进行了扩展,将其 3 条束流线中的 2 条专用于离子束分析技术,以便进行空气、水和危险材料控制方面的应用。另 1 条束流线正在投入使用,进行 PIXE、PIGE(粒子诱发 γ 射线发射)和 RBS 的各种应用。

■ **伊朗** 通过引入核微

探针,机构帮助伊朗提高了其范德格喇夫实验室的分析能力。该实验室位于德黑兰原子能组织的核研究中心。

机构还为其它许多国家与 IBA 使用有关的技术合作项目提供了支助。这些国家包括巴西、克罗地亚、智利、希腊、黎巴嫩、墨西哥、葡萄牙、罗马尼亚和泰国。

位于奥地利塞伯斯多夫的 IAEA 实验室,使用 Rudjer Boskovic 研究所(位于克罗地亚的萨格勒布)的范德格喇夫静电加速器的专用束流线分析环境样品,并在那里实施一个帮助他们研制一种微探针束流线的目。此外,IAEA 正在为使用 IBA 分析半导体材料的一个

协调研究项目提供支助,并将出版一份有关 PIXE 与 RBS 技术的技术文件。

加速器质谱测定法 (AMS) 这是最灵敏的痕量分析技术,在某些情况下,灵敏度达到万亿分之几。AMS 所需要的加速器与 IBA 所需要的类似,但前者的离子源和高能端要求更高。

全世界约有 50 家实验室拥有自己的 AMS 系统。AMS 具有两个很有吸引力的特点——能分析非常少量的样品和能使用稳定的核素而不是放射性核素。

对于碳分析来说,AMS 是最快的方法之一(只需 30 分钟,常规的确定年代技术则需要几星期),并且只需要几毫克的样品(常规技术需要几克样品)。AMS 还借助于宇生核素铍-10、铝-26 和碘-129 进行工作,并且将越来越多地被应用于海洋学、古气候学和地质水文学(地下水资源)的研究中。

在生物系统中,碳-14 能作为示踪剂使用,其灵敏度要比采用闪烁计数的常规方法可能做到的高出一百万倍。在生产硅片时,十亿分之几的铁杂质都能产生问题,因此可用 AMS 检测杂质含量。

■ **以色列** IAEA 帮助耶路撒冷希伯来大学的

Racah 物理研究所建立了用 AMS 测定环境样品中的镅-90 的程序,使用的是魏茨迈科学研究所的加速器。机构提供了专家、培训和一些设备,使现有设施升级。

一项可行性研究表明,与 β 计数相比,AMS 法将镅-90 的检测限提高了一倍。样品制备程序改进后将进一步增大 AMS 法的灵敏度。这个项目的实施使当地检测环境样品中痕量元素的能力得到了提高。

生产放射性同位素 利用加速器生产放射性同位素能替代利用裂变反应堆生产放射性同位素。用于生产此类同位素的加速器,通常是能产生 15—60 MeV 质子束的回旋加速器。加速器生产的短寿命放射性同位素广泛用于核医疗,因为这可以使患者所受的剂量较少。生产的同位素包括供正电子断层照相(PET)使用的同位素,例如氟-18 和钠-22(用于医疗诊断与研究),柠檬酸盐中的镓-67,铷-81/氙-81m 发生器(用于肺显像)及碘的各种同位素,特别是碘-123。使用这些短寿命同位素的放射性药物,提供的诊断信息最多,而产生的放射性废物最少。机构为此领域内的几项研究活动和一些技术合作项目提供了支助。

■ **以色列** 在以色列

Hadassah 医疗组织的放射化学实验室建造了一座用于生产放射性同位素的回旋加速器设施。机构帮助建造了生产氟-18 标记的放射性药物设施,此种药物可用于诊断心脏疾病、肿瘤、神经疾病和精神疾病。

■ **阿根廷** 机构正在帮助阿根廷使用回旋加速器生产高纯度碘-123 放射性药物,供该国的核医疗服务使用。

■ **伊朗** 在伊朗,技术合作项目涉及使用回旋加速器生产短寿命放射性同位素钷-201、镓-67、氙-81 和铟-111。以生产氟-18 和碘-123 为主的下一条生产线将与 PET 设施一起使用。

癌症治疗 全世界已安装了约 6000 台用于治疗癌症的电子直线加速器,一些质子加速器也被用于癌症的治疗(见第 33 页相关文章)。作为机构活动的一部分,机构最近就质子疗法的问题召开了一次咨询小组会议。

散裂中子源 当大功率加速器产生的质子束撞击铅之类的重金属靶时,会释放出许多中子(通过“散裂”)。中子散射实验的质量受可利用的中子通量的限制。

有许多应用需要高中子通量,例如:

供材料分析用的中子散射 由于中子能够深入地贯



穿到物质内部,因此中子散射被广泛地用于测定陶瓷、金属合金、磁性材料、超导体和生物标本的内部结构。

材料辐照试验 为了检验裂变反应堆堆芯和聚变反应堆墙体使用的材料寿命,需要高中子通量。

放射性废物嬗变 散裂中子源可用于烧掉裂变反应堆乏燃料中的过剩锕系元素,或用于处置武器级钚。

医疗 高强度中子源会减少患者在接受硼中子俘获疗法治疗时所需的辐照时间。但由于大功率散裂中子源十分昂贵,因此它所产生的中子束经常被几个国家的许多用户分享,这使得加强国际合作很重要。

电子加速器和同步加速器的辐射 电子束加工是一种增强许多材料的物理、化

学键以及引起化学反应、改变原子位置或不增殖。

这方面的应用包括:电线电缆绝缘层的交联,塑料薄膜、泡沫和管材的交联,污泥和废水的消毒,整体聚合物的改性,橡胶硫化,纤维素解聚,食品保藏,涂层固化,纺织品改性,薄膜、纤维和纸张的接合聚合,半导体改性及医疗用品的消毒。

已使用专门设计的电子束系统除去废气中的污染物。大多数电站都烧化石燃料,其排放的烟道气中含有能导致肺气肿和酸雨的氮与硫的氧化物。波兰正在试验利用电子束除去烟道气中的这些污染物。伊朗的一个项目将建造一座本国的电子加速器设施,以引进电子束加工方面的应用和推广聚合物材料的工业生产技术。

电子加速器也被用于材料分析。由电子加速器或直线加速器之类的机器产生的能量超过 25 MeV 的电子

束,可用于生产供各种样品的光子活化用的高能 γ 射线,然后再利用这些样品分析其中的元素浓度。

高能(几个 GeV)电子同步加速器可用作同步加速器光的光源,这种光可用于分析许多材料(包括有机材料和无机材料)的结构。机构与位于意大利的里雅斯特的国际理论物理中心合作,为发展中国家的科研人员提供同步加速器辐射应用方面的培训。

保持不断的进展

IAEA 正在通过各种机制帮助其成员国在各个领域中应用等离子体和加速器技术。这些应用在工业、科研、环境监测、教育和保健等领域都产生了实际效果,因而有关国家实现可持续发展的计划和战略作出了贡献。

机构除帮助成员国开发自己的等离子体技术和加速器利用设施外,还能够推动在使用大型设施(例如同步加速器辐射设施和中子散裂设施)方面的国际合作,这些设施对许多国家来说太昂贵,无力自行建造。预期在下一个十年等离子体和加速器技术的使用将会扩展,因而对更多的国家来说需要更多的合作,以便从其广泛的应用中受益。 □

照片:在迈阿密大学杰克逊医学中心,有一台用于医院传染性废物消毒的电子束加速器。